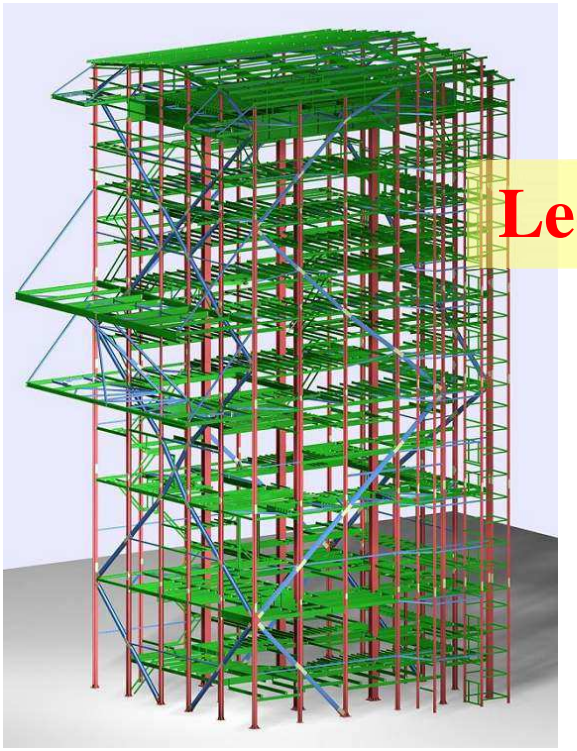


Lecture 10 – Beam-Column

- Combined Bending and Axial Stresses
- AISC Interaction Equations
- Purlin between Joists on Roof Truss
- Equivalent Axial Load Method

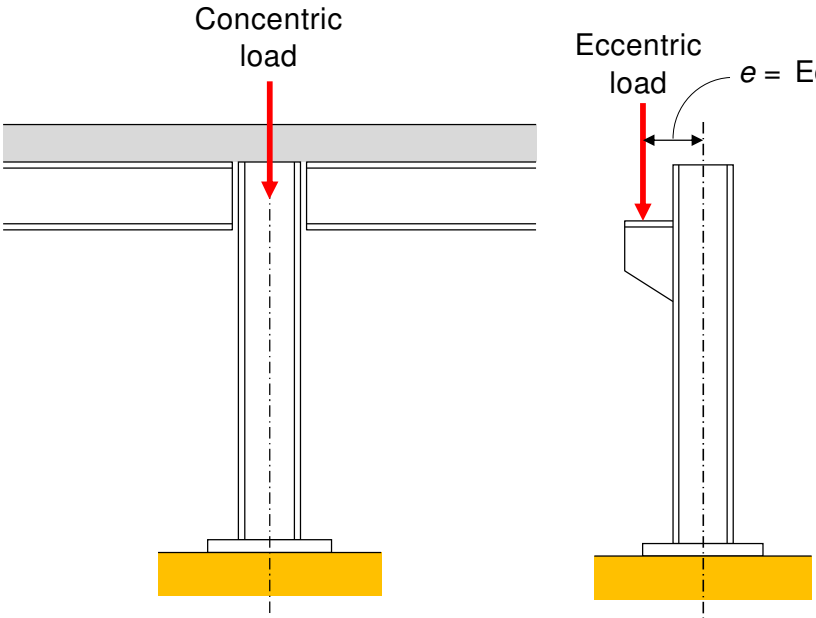
Mongkol JIRAVACHARADET

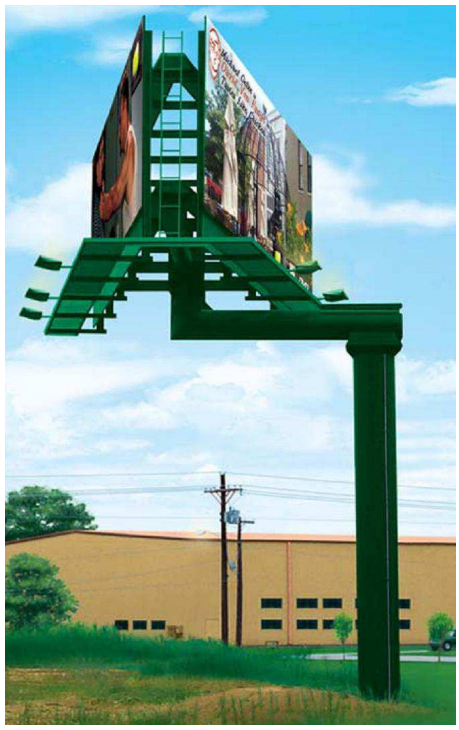
S U R A N A R E E UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

INSTITUTE OF ENGINEERING

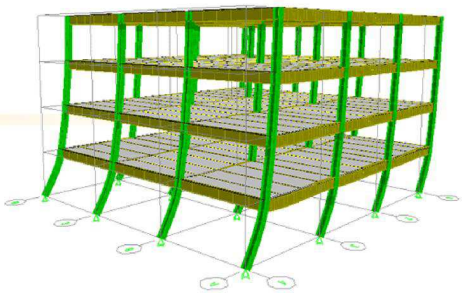
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

Concentric Loads vs. Eccentric Loads





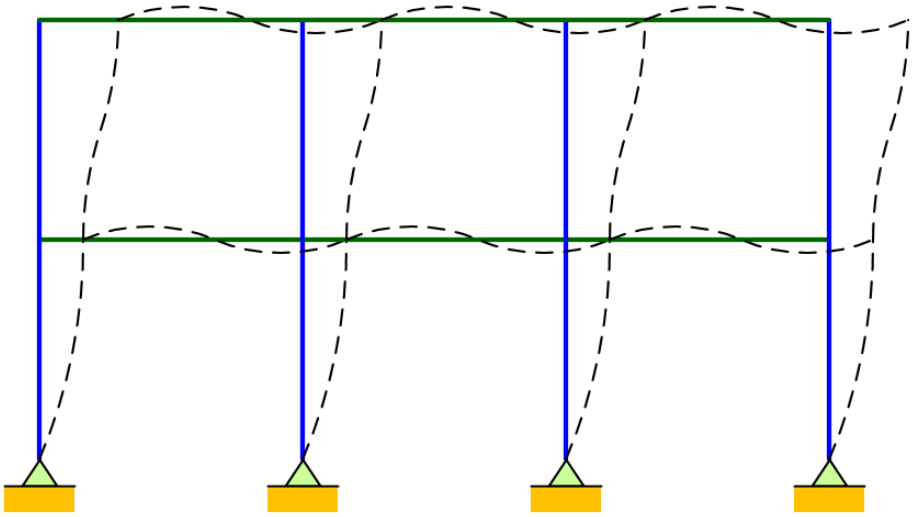
Columns in Buildings

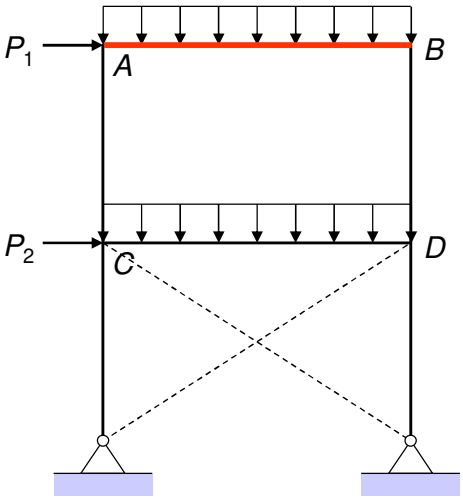


Subject to moments and axial load transferred from

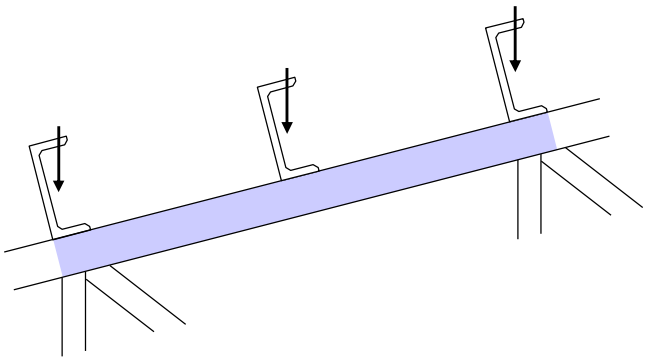
Gravity loads : Dead Load & Live Load

Lateral loads : Earthquake & Wind Load





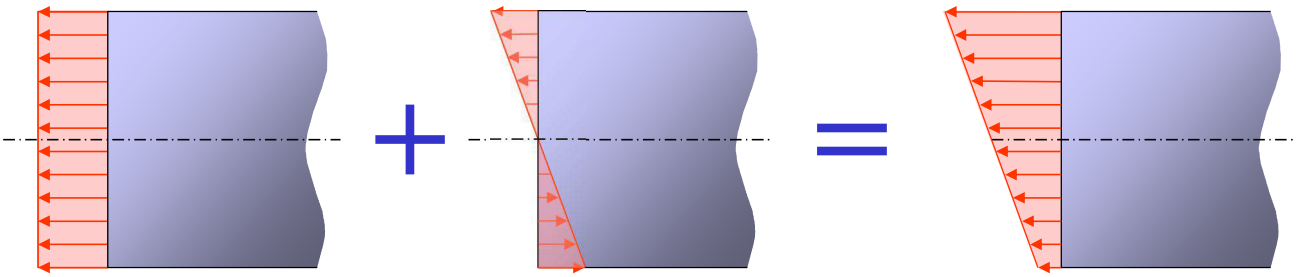
คานในโครงข้อแข็งรับแรงด้านข้าง



จันทันรับแปกลางช่วง

Combined Axial - Bending Stresses

Superposition of stresses from axial force and bending moment

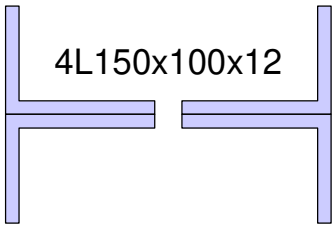


$$\sigma_a = \frac{P}{A} \qquad \sigma_b = \frac{My}{I} \qquad \sigma = \frac{P}{A} + \frac{My}{I}$$

Bending about single axis: $f = \frac{P}{A} \pm \frac{Mc}{I}$

Bending about both axes: $f = \frac{P}{A} \pm \frac{M_x y}{I_x} \pm \frac{M_y x}{I_y}$

ตัวอย่างที่ 10-1 ขื่อสะพานโครงถักยาว 7.0 เมตร รับแรงดึงได้มากที่สุด 170 ตัน และทำจาก 4L150×100×12 จงพิจารณาหน่วยแรงมากที่สุดในองค์อาคาร



วิธีทำ $A_{gross} = 114.12 \text{ cm}^2$

$I_x = 2[229 + 57.06(2.41)^2] = 1{,}121 \text{ cm}^4$

น้ำหนักของหน้าตัด $L = 4(22.4) = 89.6 \text{ kg/m}$

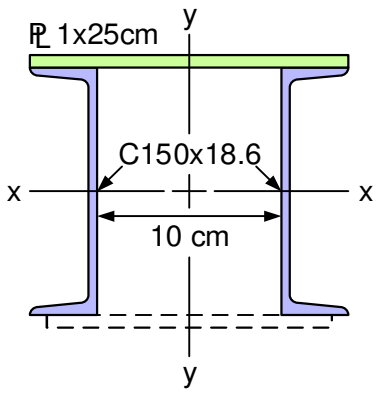
$M = wl^2/8 = (89.6)(7.0)^2/8 = 548.8 \text{ kg-m}$

$$f = \frac{P}{A} + \frac{Mc}{I} = \frac{170(1{,}000)}{114.12} + \frac{548.8(100)(10)}{1{,}121}$$

$$= 1{,}490 + 490 = \underline{\underline{1{,}980 \text{ ksc}}}$$

สัดส่วนของหน่วยแรงเนื่องจากน้ำหนักองค์อาคาร $= 490/1{,}980 = 24.75\ \%$

ตัวอย่างที่ 10-2 จันทันของสะพานมีหน้าตัดดังในรูป จงพิจารณาหน่วยแรงมากที่สุดที่ผิวนอกถ้าองค์อาคารรับโมเมนต์ 2 ตัน-เมตร และแรงอัด 50 ตัน



วิธีทำ คุณสมบัติหน้าตัด C150x18.6

$$A = 23.71\ cm^2,\quad I_x = 864\ cm^4\quad A_{plate} = 25\ cm^2$$

$$\bar{y} = \frac{2\times 23.71\times 7.5 + 25\times 15.5}{2\times 23.71 + 25}$$

$$= 10.26\ cm\ \text{ from bottom}$$

$$I_x = 2\times 864 + 2\times 23.71\times (10.26-7.5)^2 + 25\times (15.5-10.26)^2 = 2{,}775.5\ cm^2$$

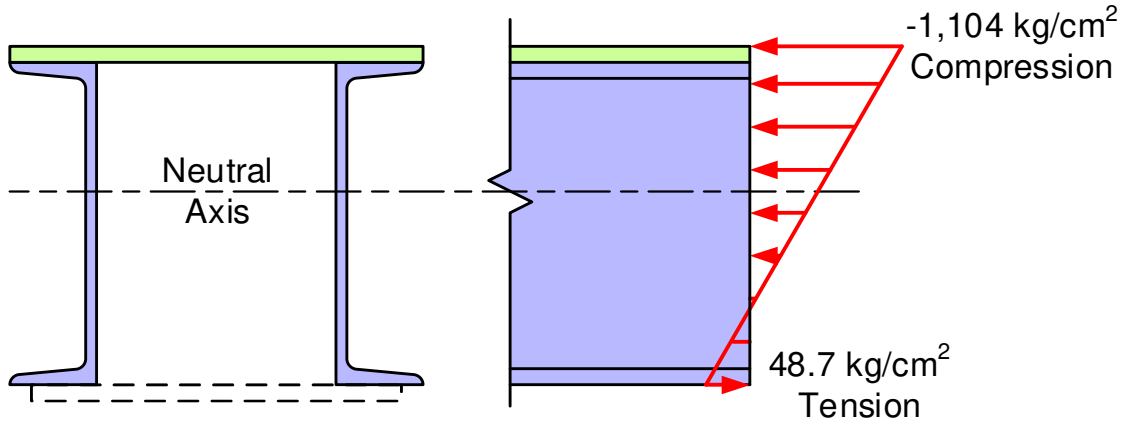
Combined stress at top = $-P/A - Mc/I$ (– stress indicates compression)

$$\frac{-50\times 10^3}{2\times 23.71+25} - \frac{2\times 10^5\times (16-10.26)}{2{,}775.5} = -1{,}104\ \ kg/cm^2$$

Combined stress at bottom = $-P/A + Mc/I$

$$\frac{-50\times 10^3}{2\times 23.71+25} + \frac{2\times 10^5\times 10.26}{2{,}775.5} = 48.7\ \ kg/cm^2$$

Stress Distribution :



To design member . . .

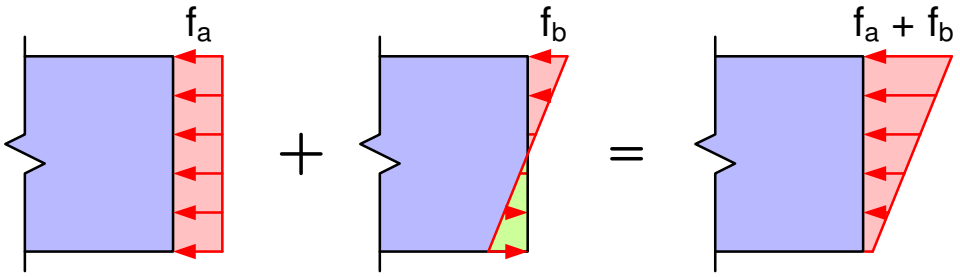
Allowable bending stress F_b varies from

$0.6F_y$ or less to $0.75F_y$ Max

Allowable axial stress F_a varies from

$\approx$ 300 ksc to $0.60F_y$ Max

Interaction Equation



If the allowable axial stress F_a were equal to the allowable bending stress F_b, the capacity of the column could be represented by

$$f_a + f_b \leq F$$

where $F = F_a = F_b$. Dividing through by F, we can write

$$\frac{f_a}{F} + \frac{f_b}{F} \leq 1$$

Since F_a and F_b are not necessarily equal, these allowable values should be introduced in the proper places in the above inequality:

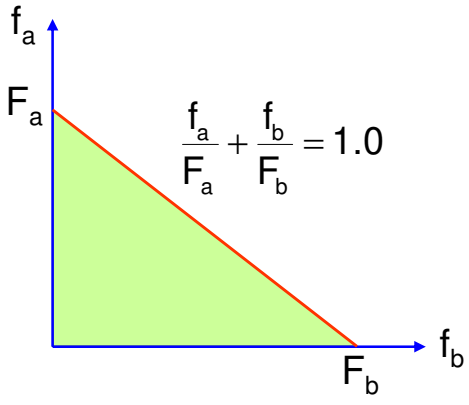
$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1$$

Allowable Combined Stresses

ในกรณีที่ f_a / F_a มีค่าไม่เกิน 0.15

Bending about single axis: $\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1.0$

Bending about both axes: $\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$



โดยที่

x, y แสดงถึงแกนรับแรงดัด

f_a = หน่วยแรงอัดตามแนวแกนที่เกิดขึ้น

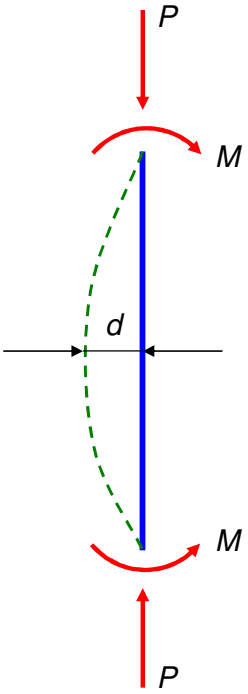
f_b = หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดที่พิจารณา

F_a = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ในกรณีรับเฉพาะแรงอัด

F_b = หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ในกรณีรับเฉพาะแรงดัด

เมื่อ f_a/F_a มีค่าเกิน 0.15 :

ต้องคิดผลของโมเมนต์จากการแอ่นตัวของคาน



โดยคูณหน่วยแรงดัด f_{bx} และ f_{by} ด้วยตัวคูณเพิ่ม:

$$\frac{1}{1-(f_a/F'_e)} \geq 1.0$$

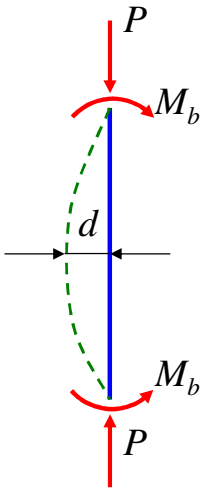
เมื่อ F'_e คือหน่วยแรงออยเลอร์หารด้วยอัตราส่วนความปลอดภัย 23/12 :

$$F'_e = \frac{12\pi^2 E}{23\left(KL_b/r_b\right)^2}$$

สมการปฏิสัมพันธ์ในกรณี $f_a/F_a > 0.15$:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx}f_{bx}}{\left(1-\frac{f_a}{F'_{ex}}\right)F_{bx}} + \frac{C_{my}f_{by}}{\left(1-\frac{f_a}{F'_{ey}}\right)F_{by}} \leq 1.0$$

AISC Interaction Equations — ว.ส.ท.



$f_a / F_a > 0.15$

(1) Check Overall Stability:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx}f_{bx}}{\left(1-\frac{f_a}{F'_{ex}}\right)F_{bx}} + \frac{C_{my}f_{by}}{\left(1-\frac{f_a}{F'_{ey}}\right)F_{by}} \leq 1.0 \quad \text{(H1-1)}$$

(2) For Maximum End Moment:

$$\frac{f_a}{0.60F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \quad \text{(H1-2)}$$

$f_a / F_a \leq 0.15$

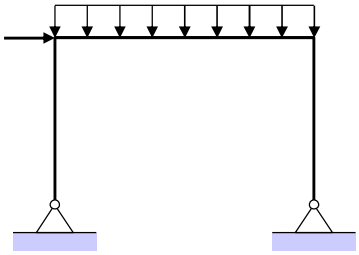
(3) Small Axial Load:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \quad \text{(H1-3)}$$

Modification Factor C_m :

- $C_m \leq 1.0$
- Use $C_m = 1.0$ for Conservative value

(a) Subjected to joint translation or sidesway $C_m = 0.85$



(a) Unbraced frame

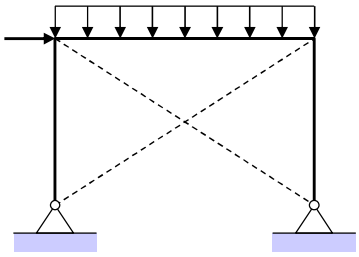
(b) No sidesway, no transverse loading between joints:

$$C_m = 0.6 - 0.4\frac{M_1}{M_2}$$

(c) No sidesway, but have transverse loading:

c.1 Restrained ends $C_m = 0.85$

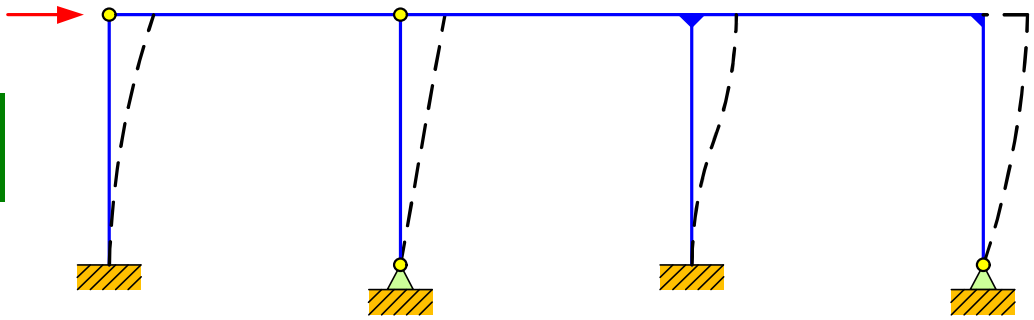
c.2 Unrestrained ends $C_m = 1.0$



(b) Braced frame

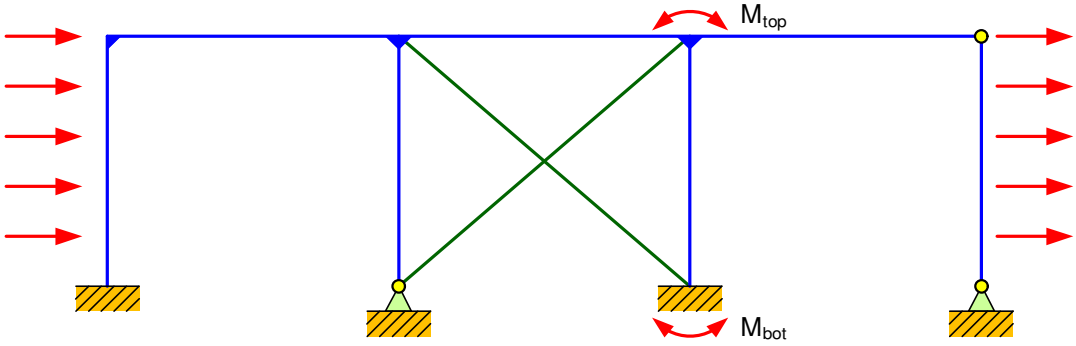
Modification Factor C_m :

Unbraced Frame



(a) $C_m = 0.85$ for all the columns

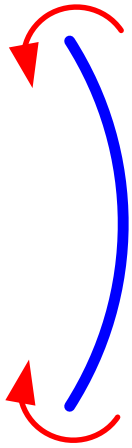
Braced Frame



(c.1)	**(b)**	**(b)**	**(c.2)**
$C_m = 0.85$	$C_m = 0.6$	$C_m \neq 0.6$	$C_m = 1.0$

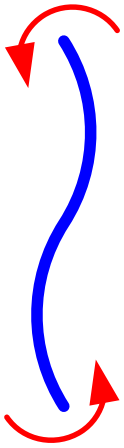
$C_m = 0.6 - 0.4 \frac{M_1}{M_2}$ where M_1/M_2 is the ratio of the smaller to the larger of M_{top} and M_{bot}

$\frac{M_1}{M_2} < 0$



Single Curvature

$\frac{M_1}{M_2} > 0$

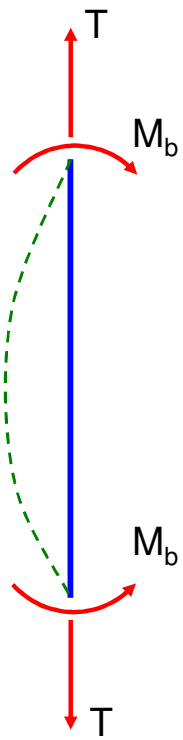


Double Curvature

Check !!! $\frac{C_m}{1 - f_a / F'_e} \geq 1.0$

แรงดึงตามแนวแกนและโมเมนต์ดัด ว.ส.ท.

องค์อาคารที่รับทั้งแรงดึงและแรงดัดพร้อมกัน เป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้



$$\frac{f_a}{F_t} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

โดยที่

x, y แสดงถึงแกนรับแรงดัด

f_a = หน่วยแรงดึงตามแนวแกนที่เกิดขึ้น

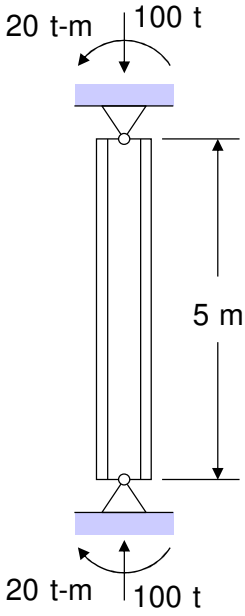
f_b = หน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดที่พิจารณา

F_t = หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ในกรณีรับเฉพาะแรงดึง

F_b = หน่วยแรงดัดที่ยอมให้ในกรณีรับเฉพาะแรงดัด

ตัวอย่างที่ 10-3 ตรวจสอบหน้าตัด W350×159 ซึ่งรับน้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ดังในรูป ใช้เหล็ก A36 เสาอยู่ในโครงที่ไม่มีการยึดรั้งต้านการเซด้านข้าง มีค่า $\mathbf{K_x}$ = 1.92 และค่า $\mathbf{K_y}$ ถูกประมาณให้เท่ากับ 1.0

วิธีทำ หน้าต้ด W350x159 ($\mathbf{A}$ = 202 cm^2, $\mathbf{S_x}$ = 2,670 cm^3, $\mathbf{r_x}$ = 15.3 cm, $\mathbf{r_y}$ = 8.9 cm, $\mathbf{L_c}$ = 4.48 m, $\mathbf{L_u}$ = 12.27 m)



$$f_a = 100(1{,}000)/202 = 495 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$K_xL_x/r_x = (1.92)(500)/15.3 = 62.75 \qquad \text{(ควบคุม)}$$

$$K_yL_y/r_y = (1.00)(500)/8.9 = 56.18$$

$$F_a = 1{,}207 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$f_a / F_a = 495/1{,}207 = 0.41 > 0.15$$

ดังนั้นต้องใช้สมการที่ (H1-1) และ (H1-2)

$$f_b = 20(1{,}000)(100)/2{,}670 = 749 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$F'_e = \frac{12\pi^2 E}{23\left(K_xL_x/r_x\right)^2} = 2{,}746 \text{ kg/cm}^2$$

องค์อาคารจัดอยู่ในข้อ (a) ใช้ค่า $C_m = 0.85$

$$\frac{C_m}{1 - f_a/F'_e} = \frac{0.85}{1 - 495/2{,}746} = 1.04 > 1.00 \qquad \text{OK}$$

ที่กลางช่วงความยาว: $F_b = 0.60F_y = 1{,}500$ กก./ซม.^{2} เนื่องจาก $L_c < L_b < L_u$

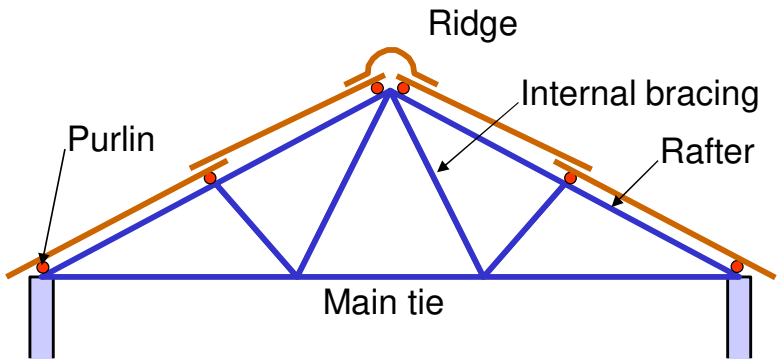
$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_m f_b}{\left(1 - f_a/F'_e\right)F_b} = \frac{495}{1{,}201} + \frac{(1.04)(749)}{1{,}500} = 0.929 \le 1.0 \qquad \text{OK}$$

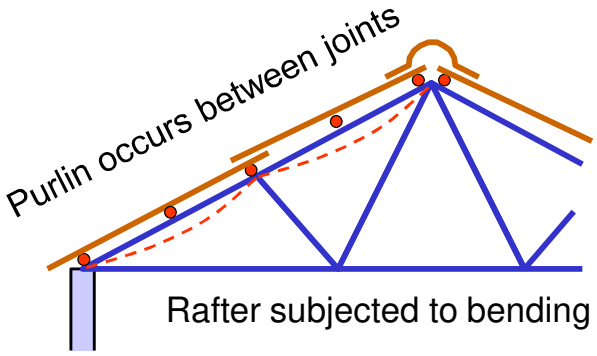
ที่ปลายองค์อาคาร: $F_b = 0.66F_y = 1{,}650$ กก./ซม.^{2}

$$\frac{f_a}{0.60F_y} + \frac{f_b}{F_b} = \frac{495}{1{,}500} + \frac{749}{1{,}650} = 0.784 \le 1.0 \qquad \text{OK}$$

หน้าตัดสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้

Purlin between Joists on Roof Truss

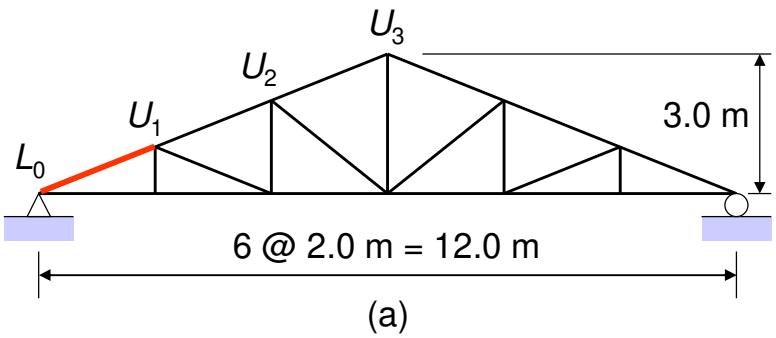


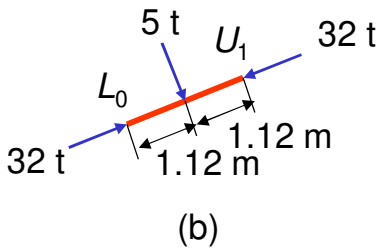


ตัวอย่างที่ 10-4 สำหรับโครงถักดังในรูป หน้าตัด W200x30.6 ถูกใช้เป็นจันทันต่อเนื่องจากจุดต่อ $\mathbf{L_0}$ ถึงจุดต่อ $\mathbf{U_3}$ ถ้าองค์อาคารทำด้วยเหล็ก A36 จงตรวจสอบว่าจันทันมีกำลังพอรับน้ำหนักในรูปหรือไม่? ซึ่งในรูป (b) แสดงส่วนของจันทันจาก $\mathbf{L_0}$ ถึง $\mathbf{U_1}$และน้ำหนักบรรทุก 5 ตันคือผลจากแป สมมุติให้มีการรองรับด้านข้างที่ปลายและที่กึ่งกลางความยาว

วิธีทำ หน้าตัด W200x30.6 ($\mathbf{A} = 39.01$ cm^2, $\mathbf{r_x} = 8.30$ cm, $\mathbf{r_y} = 3.61$ cm,

$\mathbf{S_x} = 277$ cm^3, $\mathbf{S_y} = 67.6$ cm^3, $\mathbf{L_c} = 1.91$ m)





Compressive stress: $f_a = 32(1{,}000)/39.01 = 820$ ksc

For a frame braced against sidesway $K = 1.0$

$$K_xL_x/r_x = (1.0)(224)/8.30 = 27$$

$$K_yL_y/r_y = (1.0)(112)/3.61 = 31 \qquad \textbf{(Control)}$$

จากตารางที่ ข.1 $F_a = 1{,}383$ กก./ซม.^{2}

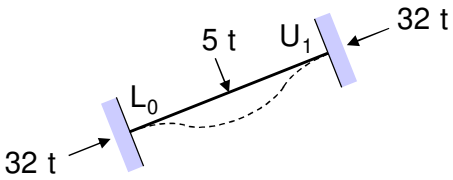
$$f_a/F_a = 820/1{,}383 = 0.59 > 0.15$$

ดังนั้นต้องใช้สมการที่ (H1-1) และ (H1-2)

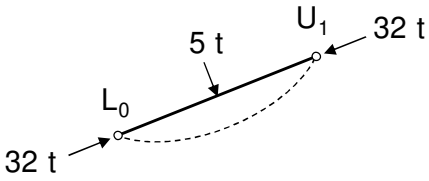
$$F'_{ex} = \frac{12\pi^2(2.1\times10^6)}{23(27)^2} = 14{,}834 \text{ ksc}$$

คานจัดอยู่ในประเภทที่ 3:

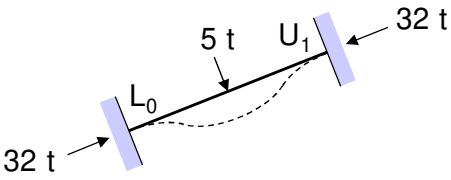
สำหรับองค์อาคารที่มีปลายยึดรั้ง $\mathbf{C_m} = 0.85$



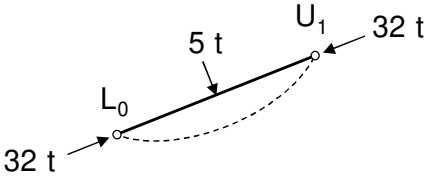
สำหรับองค์อาคารที่มีปลายไม่ยึดรั้ง $\mathbf{C_m} = 1.0$



ค่าเฉลี่ยของ $C_m = (0.85 + 1.0)/2 = 0.925$



$$M_{\text{centerline}} = PL/4 = (5)(2.24)/4 = 2.80 \text{ t-m}$$



$$M_{\text{centerline}} = 5PL/32 = 5(5)(2.24)/32$$
$$= 1.75 \text{ t-m}$$

ใช้ค่าเฉลี่ยของ $\mathbf{M} = (2.80 + 1.75) / 2 = 2.28$ ตัน-เมตร

f_b ที่จุดกึ่งกลางช่วงความยาว = 2.28(1,000)(100)/277 = 1,004 กก./ซม.^{2}

ค่าเฉลี่ยของโมเมนต์ที่ปลายคาน = $(0 + 3PL/16)/2 = 1.05$ ตัน-เมตร

f_b ที่ปลายช่วงความยาว = 1.05(1,000)(100)/277 = 379 กก./ซม.^{2}

$$\frac{C_m}{1-\frac{f_a}{F'_e}} = \frac{0.925}{1-\frac{820}{14{,}834}} = 0.979 < 1.0$$ **USE 1.0**

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_m f_b}{\left(1-\frac{f_a}{F'_e}\right)F_b} = \frac{820}{1{,}383} + \frac{(1.0)(1{,}004)}{1{,}500} = 1.26 > 1.0$$ **NG ???**

หน้าตัดไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ ???

ลองใช้หน้าตัดใหญ่กว่า **W200x30.6 ???**

การออกแบบคาน-เสา

Trial-error procedure:

Select trial section → Check interaction eqs.

Equivalent axial load method:

M → (Convert) ***P'*** (equivalent axial load)

P_{eff} = ***P***(axial load) + ***P'*** → **Design as concentric column**

Approximation:

$$P_{\text{eff}} = P + mM_x + mUM_y$$

- ค่า m และ U สำหรับหน้าตัด W ต่างๆได้ถูกคำนวณไว้ในตารางที่ ค.3 ในภาคผนวก ค
- การประมาณครั้งแรกจะใช้ค่า m = 8.5 และ U = 3
- ค่า m ในตารางเป็นค่าสำหรับ C_m = 0.85 สำหรับค่าอื่นให้คูณ m ด้วย C_m/0.85

ตัวอย่างที่ 10-5 จงเลือกหน้าตัด W ที่เบาที่สุดเพื่อรองรับ แรงตามแนวแกน **P** เท่ากับ 100 ตัน และโมเมนต์ดัด $\mathbf{M_x}$ = 7 ตัน-เมตร และ $\mathbf{M_y}$ = 4 ตัน-เมตร สมมุติ **KL** = 5 เมตร $\mathbf{C_{mx}} = \mathbf{C_{my}}$ = 0.85 และใช้เหล็ก A36

วิธีทำ จากตารางเลือกค่า m เท่ากับ 8.5 และค่า U = 3

$$P_{\text{eff}} = 100 + (7)(8.5) + (4)(8.5)(3) = 261.5 \text{ ตัน}$$

เลือกหน้าตัด W400x172 (279 ตัน) จากตารางออกแบบเสา ข.2

ตรวจสอบหน้าตัด **W400x172 (U = 2.62, m = 5.7)**

$P_{\text{eff}} = 100 + (7)(5.7) + (4)(5.7)(2.62) = 200$ ตัน < 279 ตันมาก

ลองหน้าตัดที่เล็กกว่า **W350x137 (214 ตัน) (U = 2.61, m = 6.6)**

$P_{\text{eff}} = 100 + (7)(6.6) + (4)(6.6)(2.61) = 215$ ตัน ใกล้เคียงกับ 214 ตัน พอใช้ได้

ตรวจสอบหน้าตัด W350x137 (A = 173.6 cm^2, S_x = 2,300 cm^3, S_y = 776 cm^3, r_x = 15.2 cm, r_y = 8.84 cm, L_c = 4.46 m, L_u = 10.72 m)

$f_a = 100(1{,}000)/173.6 = 576$ ksc

$K_xL_x/r_x = 500/15.2 = 32.89$

$K_yL_y/r_y = 500/8.84 = 56.56$ (ควบคุม)

F_a = 1,241 ksc

$f_a/F_a = 576/1{,}241 = 0.464 > 0.15 \longrightarrow$ ใช้สมการ (H1-1) และ (H1-2)

$f_{bx} = 7(1{,}000)(100)/2{,}300 = 304$ ksc

$f_{by} = 4(1{,}000)(100)/776 = 515$ ksc

$F_{bx} = 0.60F_y$ ที่กลางช่วง = 1,500 ksc เนื่องจาก $L_c < L_{\text{unbraced}} < L_u$

$F_{bx} = 0.66F_y$ = 1,650 ksc ที่ปลาย

$F_{by} = 0.75F_y$ = 1,875 ksc, $C_{mx} = C_{my} = 0.85$

$$F'_{ex} = \frac{12\pi^2(2.1\times10^6)}{23(32.89)^2} = 9{,}996 \text{ ksc}$$

$$\frac{C_{mx}}{1-\frac{f_a}{F'_{ex}}} = \frac{0.85}{1-\frac{576}{9{,}996}} = 0.902 < 1.0 \quad \underline{\text{Use } 1.0}$$

$$F'_{ey} = \frac{12\pi^2(2.1\times10^6)}{23(56.56)^2} = 3{,}380 \text{ ksc}$$

$$\frac{C_{my}}{1-\frac{f_a}{F'_{ey}}} = \frac{0.85}{1-\frac{576}{3{,}380}} = 1.025 > 1.0 \quad \textbf{OK}$$

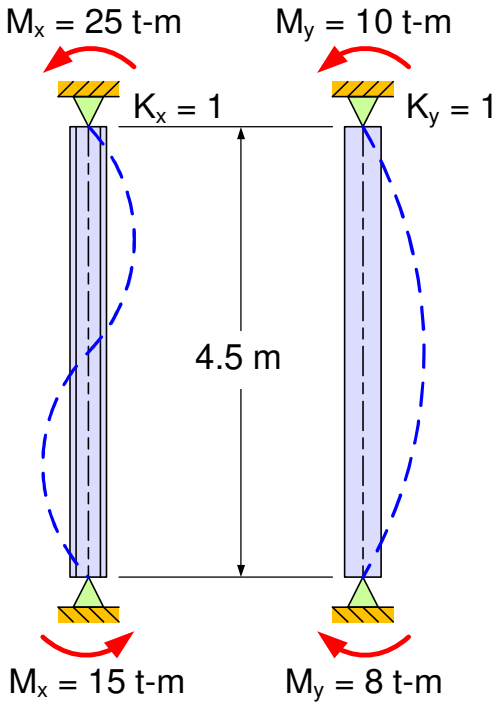
แทนค่าลงในสมการ (H1-1) และ (H1-2)

$$\frac{576}{1{,}241} + \frac{(1.0)(304)}{1{,}500} + \frac{(1.025)(515)}{1{,}875} = 0.948 < 1.0 \quad \textbf{OK}$$

$$\frac{576}{1{,}500} + \frac{304}{1{,}650} + \frac{515}{1{,}875} = 0.843 < 1.0 \quad \textbf{OK}$$

USE W350x137

ตัวอย่างที่ 10-6 จงเลือกหน้าตัด W ที่เบาที่สุดเพื่อรองรับ แรงตามแนวแกน 150 ตัน และโมเมนต์ดัดดังแสดงในรูป โครงมีการยึดรั้งต้านทานการโยกตัวด้านข้าง



วิธีทำ พิจารณาค่า C_{mx} และ C_{my}

$$C_{mx} = 0.60 - 0.40\frac{M_1}{M_2}$$

$$= 0.60 - 0.40\frac{15}{25} = 0.36$$

$$C_{my} = 0.60 - 0.40\frac{-8}{10} = 0.92$$

- การประมาณครั้งแรกจะใช้ค่า $m = 8.5$ และ $U = 3$
- ค่า m ในตารางเป็นค่าสำหรับ $C_m = 0.85$ สำหรับค่าอื่นให้คูณ m ด้วย $C_m/0.85$

$$P_{eff} = P_0 + M_x m + M_y m U$$

$$P_{eff} = 150 + 25\times8.5\times\frac{0.36}{0.85} + 10\times8.5\times\frac{0.92}{0.85}\times3 = 516 \text{ ton}$$

จากตาราง ข.2 สำหรับ $KL = 4.5$ m เลือกหน้าตัด W 400×415 (698 ton)

ตรวจสอบหน้าตัด W 400×415 ($U = 2.48$, $m = 5.6$)

$$P_{eff} = 150 + 25 \times 5.6 \times \frac{0.36}{0.85} + 10 \times 5.6 \times \frac{0.92}{0.85} \times 2.48 = 360 \text{ ton} < 516 \text{ ton}$$

จากตาราง ข.2 สำหรับ $KL = 4.5$ m เลือกหน้าตัด W 400×232 (387 ton)

ตรวจสอบหน้าตัด W 400×232 ($U = 2.58$, $m = 5.8$)

$$P_{eff} = 150 + 25 \times 5.8 \times \frac{0.36}{0.85} + 10 \times 5.8 \times \frac{0.92}{0.85} \times 2.58 = 373 \text{ ton} \approx 387 \text{ ton}$$

ตรวจสอบหน้าตัด W400×232($A = 295.4$ cm^2, $S_x = 4{,}480$ cm^3, $S_y = 1{,}530$ cm^3, $r_x = 17.7$ cm, $r_y = 10.2$ cm, $L_c = 5.15$ m, $L_u = 15.34$ m)

$$f_a = 150 \times 10^3 / 295.4 = 508 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$K_xL_x/r_x = 450 / 17.7 = 25$$

$$K_yL_y/r_y = 450 / 10.2 = 44 \text{ (ควบคุม)} \longrightarrow F_a = 1{,}315 \text{ กก./ซม.}^2$$

$f_a / F_a = 508 / 1{,}315 = 0.39 > 0.15$ ดังนั้นใช้สมการ (H1-1) และ (H1-2)

$$f_{bx} = 25 \times 10^5 / 4{,}480 = 558 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$f_{by} = 10 \times 10^5 / 1{,}530 = 654 \text{ กก./ซม.}^2$$

$F_{bx} = 0.66F_y$ ที่กลางช่วง $= 1{,}650$ กก./ซม.^{2} เนื่องจาก $L < L_c$

$F_{bx} = 0.66F_y = 1{,}650$ กก./ซม.^{2} ที่ปลาย

$F_{by} = 0.75F_y = 1{,}875$ กก./ซม.^{2}, $C_{mx} = 0.36$, $C_{my} = 0.92$

$$F'_{ex} = \frac{12\pi^2(2.1\times10^6)}{23(25)^2} = 17{,}301 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{C_{mx}}{1-\frac{f_a}{F'_{ex}}} = \frac{0.36}{1-\frac{508}{17{,}301}} = 0.37 < 1.0 \quad \underline{\text{Use 1.0}}$$

$$F'_{ey} = \frac{12\pi^2(2.1\times10^6)}{23(44)^2} = 5{,}585 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{C_{my}}{1-\frac{f_a}{F'_{ey}}} = \frac{0.92}{1-\frac{508}{5{,}585}} = 1.012 > 1.0 \quad \textbf{OK}$$

แทนค่าลงในสมการ (H1-1) และ (H1-2)

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{\left(1-\frac{f_a}{F'_{ex}}\right)F_{bx}} + \frac{C_{my} f_{by}}{\left(1-\frac{f_a}{F'_{ey}}\right)F_{by}} \le 1.0 \quad \text{_____} \quad \text{(H1-1)}$$

$$\frac{508}{1{,}315} + \frac{(1.0)(558)}{1{,}650} + \frac{(1.012)(654)}{1{,}875} = 1.08 > 1.0 \quad \textbf{NG}$$

ลองหน้าตัดที่ใหญ่ขึ้น W400×283($A = 360.7$ cm^2, $S_x = 5{,}570$ cm^3, $S_y = 1{,}930$ cm^3, $r_x = 18.2$ cm, $r_y = 10.4$ cm, $L_c = 5.18$ m, $L_u = 18.64$ m)

$f_a = 150\times10^3 / 360.7 = 416$ กก./ซม.^{2}

$K_xL_x/r_x = 450 / 18.2 = 25$

$K_yL_y/r_y = 450 / 10.4 = 43$ (ควบคุม) $\longrightarrow$ $F_a = 1{,}321$ กก./ซม.^{2}

$f_a / F_a = 416 / 1{,}321 = 0.32 > 0.15$ ดังนั้นใช้สมการ (H1-1) และ (H1-2)

$f_{bx} = 25\times10^5 / 5{,}570 = 449$ กก./ซม.^{2}

$f_{by} = 10\times10^5 / 1{,}930 = 518$ กก./ซม.^{2}

$F_{bx} = 0.66F_y$ ที่กลางช่วง $= 1{,}650$ กก./ซม.^{2} เนื่องจาก $L < L_c$

$F_{bx} = 0.66F_y = 1{,}650$ กก./ซม.^{2} ที่ปลาย

$F_{by} = 0.75F_y = 1{,}875$ กก./ซม.^{2}, $C_{mx} = 0.36$, $C_{my} = 0.92$

$$F'_{ex} = \frac{12\pi^2(2.1\times10^6)}{23(25)^2} = 17{,}301 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{C_{mx}}{1-\frac{f_a}{F'_{ex}}} = \frac{0.36}{1-\frac{416}{17{,}301}} = 0.37 < 1.0 \quad \underline{\text{Use 1.0}}$$

$$F'_{ey} = \frac{12\pi^2(2.1\times10^6)}{23(43)^2} = 5{,}848 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{C_{my}}{1-\frac{f_a}{F'_{ey}}} = \frac{0.92}{1-\frac{416}{5{,}848}} = 0.99 < 1.0 \quad \underline{\text{Use 1.0}}$$

แทนค่าลงในสมการ (H1-1) และ (H1-2)

$$\frac{416}{1{,}321} + \frac{(1.0)(449)}{1{,}650} + \frac{(1.0)(518)}{1{,}875} = 0.86 < 1.0 \quad \textbf{OK}$$

$$\frac{416}{1{,}500} + \frac{449}{1{,}650} + \frac{518}{1{,}875} = 0.83 < 1.0 \quad \textbf{OK}$$

USE W400×283